

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Toshifumi MIHASHI et al.

Title: EYE CHARACTERISTIC MEASURING APPARATUS

Appl. No.: Unassigned

Filing Date: 08/27/2003

Examiner: Unassigned

Art Unit: Unassigned

CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY

Commissioner for Patents
PO Box 1450
Alexandria, Virginia 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

- JAPAN Patent Application No. 2002-250126 filed 08/29/2002.

Respectfully submitted,

Date August 27, 2003

By RL Schwaab

FOLEY & LARDNER
Customer Number: 22428



22428

PATENT TRADEMARK OFFICE

Telephone: (202) 672-5414
Facsimile: (202) 672-5399

Richard L. Schwaab
Attorney for Applicant
Registration No. 25,479

日本特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application: 2002年 8月29日

出願番号

Application Number: 特願2002-250126

[ST.10/C]:

[JP2002-250126]

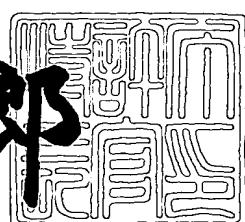
出願人

Applicant(s): 株式会社トプコン

2003年 6月16日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3047032

【書類名】 特許願
【整理番号】 P0611JP
【提出日】 平成14年 8月29日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 A61B 3/00
【発明者】
【住所又は居所】 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内
【氏名】 三橋 俊文
【発明者】
【住所又は居所】 東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内
【氏名】 広原 陽子
【特許出願人】
【識別番号】 000220343
【氏名又は名称】 株式会社トプコン
【代理人】
【識別番号】 100107010
【弁理士】
【氏名又は名称】 橋爪 健
【手数料の表示】
【予納台帳番号】 054885
【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 9805699
【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 眼特性測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1波長の光束を発する光源部と、

上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を照明するための第1照明光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する長焦点又は高感度のレンズ部を有する第1変換部材を介して受光するための第1受光光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第2変換部材を介して受光するための第2受光光学系と、

上記第1受光光学系の受光光束を受光する第1受光部と、

上記第2受光光学系の受光光束を受光する第2受光部と、

上記第2受光部からの出力信号に基づき、上記第1及び/又は第2受光光学系の測定条件を設定する測定条件設定部と、

上記第1受光部及び/又は第2受光部の出力に基づき、被検眼の光学特性を求める演算部と、

を備えた眼特性測定装置。

【請求項2】

上記測定条件設定部は、上記第2受光部の出力に基づき、上記第1及び/又は第2受光光学系に対して、低次収差を補正するように構成されていることを特徴とする請求項1に記載の眼特性測定装置。

【請求項3】

第1波長の光束を発する光源部と、

上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を照明するための第1照明光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくと

も実質的に17本のビームに変換する長焦点又は高感度のレンズ部を有する第1変換部材を介して受光するための第1受光光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第2変換部材を介して受光するための第2受光光学系と、

上記第1受光光学系の受光光束を受光する第1受光部と、

上記第2受光光学系の受光光束を受光する第2受光部と、

上記第1受光部及び／又は第2受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求め、上記第2受光部からの出力に基づき上記第1変換部材によるビームの変化方向又は配置を推定する演算部と、

を備えた眼特性測定装置。

【請求項4】

上記第1及び／又は第2受光光学系の測定条件を設定する測定条件設定部とをさらに備え、

上記測定条件設定部は、上記第2受光部の出力に基づき、上記第1及び／又は第2受光光学系に対して、低次収差を補正するように構成されていることを特徴とする請求項3に記載の眼特性測定装置。

【請求項5】

上記照明光学系は、上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を細いビームにより照明するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項6】

上記照明光学系は、上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を幅広いビームにより照明するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項7】

上記第2受光部の出力に基づき、光学特性を求めた結果、3次以上の高次収差が所定以上であれば、上記演算部は、上記第2受光部の出力に基づいた結果を、被検眼の光学特性とするように構成したことを特徴とする請求項1乃至6のいず

れかに記載の眼特性測定装置。

【請求項8】

上記第2受光部の出力に基づき、光学特性を求めた結果、3次以上の高次収差が所定以上でない場合に、上記測定条件設定部は、上記第2受光部に基づき求めた光学特性により、上記第1及び／又は第2受光光学系の測定条件を変更し、上記演算部は、変更後の上記第1受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求めるように構成したことを特徴とする請求項2乃至7のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項9】

上記第2受光部の出力に基づき、光学特性を求めた結果、3次以上の高次収差が所定以上でない場合に、上記測定条件設定部は、上記第2受光部に基づき求めた光学特性により、上記第1及び／又は第2受光光学系の測定条件を変更し、上記演算部は、変更後の上記第1受光部及び第2受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求めるように構成したことを特徴とする請求項2乃至7のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項10】

上記演算部は、短焦点又は低感度の上記第2受光部での受光点の位置に基づき上記第1受光部での受光点の位置を求めるように構成されている請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項11】

上記演算部は、短焦点又は低感度の上記第2受光部での受光点のずれ方向とずれ量に基づき上記第1受光部での受光点の位置を求めるように構成されている請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項12】

上記演算部は、上記第2受光部の出力に基づき求めたゼルニケ係数を用いて、上記第1受光部の出力に関する点像の移動量を推定することを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項13】

上記第2受光光学系は、測定可能範囲にわたる第2変換部材により変換された

ビームの変化が、第2変換部材の変換ピッチよりも小さく設定されており、その結果、信号処理が容易かつ高速化が図れるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項14】

上記第2受光光学系は、測定可能範囲にわたる第2変換部材により変換されたビームの変化が、第2変換部材の変換ピッチよりも小さく設定されており、その結果、スポット像の欠損位置を容易に検出でき、又は各スポット像の検出範囲が重複することなく画一的に検出でき、ビームの信号処理が容易かつ高速化が図れるように構成されていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項15】

上記第1受光光学系は、測定可能範囲にわたる第1変換部材により変換されたビームの変化が、第1変換部材の変換ピッチよりも大きく設定されており、その結果高感度で高精度な測定ができるようにいることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【請求項16】

さらに第1受光部及び／又は第2受光部からの信号を受け取るハルトマン像表示部を有し、該ハルトマン像表示部は、高感度又は長焦点のレンズ部を有する第1変換部材による第1ハルトマン像及び／又は低感度又は短焦点のレンズ部を有する第2変換部材によるハルトマン像を表示するように構成されていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載の眼特性測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、眼特性測定装置に係り、特に、被検眼の光学特性を波面センサを用いて複数の感度により精密・高速に測定するための眼特性測定装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来の角膜形状測定装置は、指標を投影し、その指標の結像位置を求め角膜形

状を測定する装置が知られている。また、眼の光学特性を測定する装置には、本出願人が特許出願を行ったものとして、受光部の受光レベルで照明光学系のピント調整を行い、受光部の出力から求めた光学特性 (S) に基づき受光光学系のピント調整を行う装置や、測定よりも少ない数の変換部材による変換ビームを受光して調整する装置が存在している（特願平9-137630号、特願2000-321509）。

【0003】

また、被検眼の状態に係らず、被検眼の波面収差をより効率的に適切に測定し表示を行う眼特性測定装置が提案されている（特願2001-388965号、特願2001-376717号）。この装置では、第1照明光学系は、第1の光源部からの第1光束で被検眼網膜上で微小な領域を照明する。第1受光光学系は、被検眼網膜から反射して戻ってくる光束の一部を、反射光束を第1変換部材（ハルトマン板）を介して第1受光部に導く。第1受光部からの第1信号に基づき、スポット像のピーク抽出を行い、抽出されたスポット像のピークに基づき、水平方向の中心軸付近から、格子点の列番号を決定し、その後、決定された列番号のスポット像位置に基づき行番号を決定することにより、格子点座標を決定する。演算部は、各スポットの格子点座標に基づき、被検眼の光学特性を演算する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、収差を有する被検眼の光学特性を測定する装置において、収差量が多い場合にスポット像の変位量が大きくなり正確な測定が困難な場合があった。

【0005】

本発明は、以上の点に鑑み、被検眼の光学特性を精密に測定する場合に、短焦点又は低感度（低倍率）の受光光学系により測定した光学特性に基づき、長焦点又は高感度（高倍率）の受光光学系の測定条件（球面度などの低次収差、高次収差）を設定し、より正確、高速に眼特性の測定を行うことを目的とする。また、本発明は、特に、ラフ測定にハルトマンシャックの短焦点バージョンの測定を利することができる眼特性測定装置を提供することを目的とする。

【0006】

また、本発明は、次に例示することを実現する眼特性測定装置を提供することを目的を達成する。

1. 短焦点のハルトマン像を用いるので、測定感度が低く、球面度数に対し、広い測定範囲を持つ。現行のラフ測定も、広い球面度数の測定をして、レンズを移動して精密測定に備えるのが目的のひとつなので、短焦点の測定もこれをまず満たしている。

2. 今までのラフ測定と違い、収差測定も可能である。

3. この短焦点による収差測定で、次のことが可能になる。

(ア) ほぼリアルタイムでの出力が可能であり、調節などによる目の屈折状態の動的な変化が、リアルタイム測定できる。

(イ) 精度はある程度犠牲になるのかも知れないが、大きな収差変化も測定できる。

(ウ) 高精度測定の処理で、ラフ測定で得られた情報が利用できる。たとえば、点像の認識は、焦点距離の長い高精度測定では高度の画像処理技術を要求するか、不可能な場合があるが、ラフ測定により、だいたいの像のゆがみが予測できるので、まちがいなく、高精度測定時の画像処理、画像認識ができ、これら処理の全自動化にも寄与する。また、誤作動もなくなる。測度点が抜けているところも予測できる。

(エ) 短焦点化することで、長焦点と同じ光量を得ることとすれば、小さなレンズ径で済み、結果としてレンズを高密度化でき、次のことが可能となる。

①瞳径が小さくても点数を多く測定できるため高次収差まで解析可能（許容範囲判断のところで瞳径による解析の可不可も判断）

②点数が多いためさらに高次の解析、周辺付近の解析より正確に行うことが可能となる。

③高密度であるため不連続な波面に対してフィッティング精度がよくなり、より高次の解析が可能

(オ) 感度の低い短焦点での測定も行っていることから、高感度のほうでは測定できない大きな収差の眼も測定でき、測定レンジを広げられる。

(カ) 1つの測定結果で領域により収差の変化が大きく、高感度で測定できると

ころとできないところが混在する場合、短焦点と高感度の結果を合成することもできる。（高感度で測定不可能であった重心点を短焦点の結果から再現し、高感度の解析時にその点も含めてゼルニケ解析を行う）

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の解決手段によると、

第1波長の光束を発する光源部と、

上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を照明するための第1照明光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する長焦点又は高感度のレンズ部を有する第1変換部材を介して受光するための第1受光光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第2変換部材を介して受光するための第2受光光学系と、

上記第1受光光学系の受光光束を受光する第1受光部と、

上記第2受光光学系の受光光束を受光する第2受光部と、

上記第2受光部からの出力信号に基づき、上記第1及び／又は第2受光光学系の測定条件を設定する測定条件設定部と、

上記第1受光部及び／又は第2受光部の出力に基づき、被検眼の光学特性を求める演算部と、

を備えた眼特性測定装置が提供される。

【0008】

本発明の第2の解決手段によると、

第1波長の光束を発する光源部と、

上記光源部からの光束で被検眼網膜上で微小な領域を照明するための第1照明光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する長焦点又は高感度のレンズ部を有する第1

変換部材を介して受光するための第1受光光学系と、

被検眼網膜から反射して戻ってくる反射光束の一部を、該反射光束を少なくとも実質的に17本のビームに変換する短焦点又は低感度のレンズ部を有する第2変換部材を介して受光するための第2受光光学系と、

上記第1受光光学系の受光光束を受光する第1受光部と、

上記第2受光光学系の受光光束を受光する第2受光部と、

上記第1受光部及び／又は第2受光部の出力に基づき被検眼の光学特性を求める、上記第2受光部からの出力に基づき上記第1変換部材によるビームの変化方向又は配置を推定する演算部と、

を備えた眼特性測定装置が提供される。

【0009】

【発明の実施の形態】

1. 光学系構成

図1に、眼特性測定装置の光学系の構成図を示す。

眼特性測定装置は、第1照明光学系10と、第1光源部11と、第1測定部25Aと、第2測定部25Bと、前眼部照明部30と、前眼部観察部40と、第1調整光学部50と、第2調整光学部70と、視標光学部90を備える。また、第1測定部25Aは、第1受光光学系20Aと、第1受光部21Aを含み、第2測定部25Bは、第2受光光学系20Bと、第2受光部21Bを含む。なお、被測定眼100については、網膜（眼底）、角膜（前眼部）が示されている。

【0010】

以下、各部について詳細に説明する。

第1照明光学系10は、第1光源部11からの光束で被検眼100の眼底上で微小な領域を照明するためのものである。第1照明光学系10は、例えば、第1の集光レンズと、第1のシリンダーレンズと、第1リレーレンズとを備える。

【0011】

第1光源部11は、第1波長の光束を発する。第1光源部11は、空間コヒーレンスが高く、時間コヒーレンスは高くないものが望ましい。ここでは、一例として、第1光源部11には、SLD（スーパールミネンスダイオード）が採用

されており、輝度が高い点光源を得ることができる。なお、第1光源部11は、S LDに限られるものではなく、レーザーの様に空間、時間ともコヒーレンスが高いものでも、回転拡散板などを挿入することにより、適度に時間コヒーレンスを下げることで利用できる。そして、S LDの様に、空間、時間ともコヒーレンスが高くないものでも、光量さえ充分であれば、ピンホール等を光路の光源の位置に挿入することで、使用可能になる。また、照明用の第1光源部11の波長は、例えば、赤外域の波長（例、780 nm）を使用することができる。

【0012】

第1受光光学系20Aは、例えば、被検眼100の網膜から反射して戻ってきた光束を受光し第1受光部21Aに導くためのものである。第1受光光学系20Aは、例えば、変換部材22A（例、ハルトマン板）と、アフォーカルレンズと、シリンダーレンズと、リレーレンズと、ビームスプリッタ23Aを備える。変換部材22Aは、反射光束を少なくとも17本の複数のビームに変換するための長焦点又は高感度のレンズ部を有する波面変換部材である。変換部材22Aには、光軸と直交する面内に配置された複数のマイクロフレネルレンズを用いることができる。眼底からの反射光は、変換部材22Aを介して第1受光部21A上に集光する。第1受光部21Aは、変換部材22Aを通過した第1の受光光学系20Aからの光を受光し、第1信号を生成するためのものである。

【0013】

第2受光光学系20Bは、同様に、被検眼100の網膜から反射して戻ってきた光束を受光し第2受光部21Bに導くためのものである。第2受光光学系20Bは、例えば、変換部材22B（例、ハルトマン板）と、第1受光光学系20Aと共に用されるアフォーカルレンズ及びシリンダーレンズ及びリレーレンズ及びビームスプリッタ23Aと、を備える。変換部材22Bは、反射光束を少なくとも17本の複数のビームに変換するための短焦点又は低感度のレンズ部を有する波面変換部材である。変換部材22Bには、光軸と直交する面内に配置された複数のマイクロフレネルレンズを用いることができる。眼底からの反射光は、変換部材22Bを介して第2受光部21B上に集光する。第2受光部21Bは、変換部材22Bを通過した第2の受光光学系20Bからの光を受光し、第2信号を生成

するためのものである。

【0014】

第1測定部25Aと第2測定部25Bはハーフミラー23により分けられる。もしくはハーフミラー23の代わりにミラー部を用いてこのミラー部が動いて光路に挿板されることにより第1又は第2測定部25A又は25Bに切り替えることもできる。

【0015】

移動部15は、第1照明光学系10と第1及び第2受光光学系20A及び20Bを一体に移動する。例えば、第1光源部11からの光束が集光する点で反射されたとして、その反射光による第1受光部21Aでの信号ピークが最大となる関係を維持して、連動して移動し、第1受光部21Aでの信号ピークが強くなる方向に移動し、強度が最大となる位置で停止することができる。

【0016】

第1光源部11から被検眼100への入射光は絞り12を偏心させることでレンズや角膜の頂点反射を防ぎ、ノイズを押さえられる。絞り12は、径がハルトマンプレート22Aの有効範囲より小さく、いわゆるシングルパスの収差計測（受光側だけに眼の収差が影響する方法）が成り立つことができる様になっている。レンズ13は、上記を満たすために眼底共役点を前側焦点位置に、さらに眼の瞳との共役関係を満たすために、後側焦点位置が絞り12と一致するように配置されている。

【0017】

なお、第1光源部11から出た入射光線は、眼底から拡散反射された測定光線と共に光路になった後は、近軸的には、眼底から拡散反射された測定光線と同じ進み方をする。但し、シングルパス測定のときは、それぞれの光線の径は違い、入射光線のビーム径は、測定光線に比べ、かなり細く設定される。具体的には、入射光線のビーム径は、例えば、被検眼100の瞳位置で1mm程度、測定光線のビーム径は、7mm程度になることもある。なお、光学系を適宜配置し、絞り12の径を大きくすることで、ダブルパス測定を行うこともできる。

【0018】

ビームスプリッタ61は、例えば、第1波長の光束を反射するダイクロイックミラーで構成されている。また、眼底からの反射むら等による光を均一化するためのロータリープリズム62が配置されている。

【0019】

前眼部照明部30は、例えば、プラチドリング又はケラトリング等を用いて前眼部を所定パターンで照射する。ケラトリングの場合、ケラト像により角膜の曲率中心付近だけのパターンを得ることができる。前眼部観察部40は、例えば、リレーレンズ、テレセン絞りをCCDで構成される受光部を備え、例えば、プラチドリング、ケラドリング等の前眼部照明部30のパターンが、被測定眼100の前眼部から反射して戻ってくる光束を観察する。なお、テレセン絞りは、前眼部像がぼけないようにするための絞りである。

【0020】

第1調整光学部50は、例えば、作動距離調整を主に行うものであって、光源部と、集光レンズと、受光部とを備える。ここで、作動距離調整は、例えば、光源部から射出された光軸付近の平行な光束を、被測定眼100に向けて照射すると共に、この被測定眼100から反射された光を、集光レンズを介して受光部で受光することにより行われる。また、被測定眼100が適正な作動距離にある場合、受光部の光軸上に、光源部からのスポット像が形成される。一方、被測定眼100が適正な作動距離から前後に外れた場合、光源部からのスポット像は、受光部の光軸より上又は下に形成される。なお、受光部は、光源部、光軸、受光部を含む面内での光束位置の変化を検出できればいいので、例えば、この面内に配された1次元CCD、ポジションセンシングデバイス(PSD)等を適用できる。

【0021】

第2調整光学部70は、例えば、XY方向のアライメント調整を行うものであって、アライメント用光源部と、レンズと、ビームスプリッタとを備える。

視標光学部90は、例えば、被検眼の風景チャート、固視や雲霧をさせる為の視標を投影する光路を含むものであって、光源部(例えば、ランプ)、固視標92、リレーレンズを備える。光源部からの光束で固視標92を眼底に照射するこ

とができ、被検眼100にその像を観察させる。

【0022】

(共役関係)

被測定眼100の眼底、視標光学部90の固視標92、第1光源部11、第1受光部21A、第2受光部21Bが共役である。また、被測定眼100の眼の瞳（虹彩）、ロータリープリズム62、第1及び第2受光光学系の変換部材（ハルトマン板）22A及び22B、第1照明光学系10の測定光入射側の絞り12が共役である。

【0023】

図2は、眼特性測定装置の光学系の変形例の構成図である。

この図では、眼特性測定装置のうち、第1照明光学系10と、第1光源部11と、第1受光光学系20Aと、第1受光部21Aと、第2受光部21Bとが示されている。この例では、変換部材22A及び第1受光部21Aを有する第1測定部25Aと、変換部材22B及び第2受光部21Bを有する第2測定部25Bとが、移動部26により第1受光光学系20Aによる受光位置に移動して切り替えることができる。このようにして、高感度の第1測定部25Aと低感度の第2測定部25Bとが適宜切り替えることができる。移動部26は、制御部610及び駆動部からの制御信号（15）により移動制御される。

【0024】

上述の実施の形態は、主に、入射光線が細いシングルパスとして説明したが、本発明は、入射光線が太いダブルパスとしての眼特定測定装置に通用することも可能である。その際、光学系がダブルパス用構成で配置されるが、演算部による測定・計算処理は同様である。

【0025】

2. 電気系構成

図3は、眼特性測定装置の電気系の構成図である。

眼特性測定装置の電気系の構成は、演算部600と、制御部610と、入力部650と、表示部700と、メモリ800と、第1の駆動部910と、第2の駆動部911と、第3の駆動部912と、第4の駆動部913とを備える。演算部

600は、例えば、測定条件設定部601と、各種眼特性測定を行う処理部（精密測定を行う第1処理部及び粗測定を行う第2処理部）とを含む。さらに、入力部650は、表示部700に表示された適宜のボタン、アイコン、位置、領域等を指示するためポインティングデバイス、各種データを入力するためのキーボード等を備える。

【0026】

また、演算部600には、第1受光部21Aからの第1信号④と、第2受光部21Bからの第2信号（14）と、前眼部観察部40からの信号⑦と、第1調整光学部50からの信号（10）が入力される。演算部600は、第1及び第2受光部21A及び21Bからの第1信号④及び第2信号（14）により、例えば、光束の傾き角に基づき被検眼100の光学特性を求める。また、演算部600は、この演算結果に応じた信号又は他の信号・データを、電気駆動系の制御を行う制御部610と、表示部700と、メモリ800とにそれぞれ適宜出力する。

【0027】

測定条件設定部601は、第1及び／又は第2受光光学系20A及び／又は20Bの測定条件を設定する。測定条件設定部601は、第2受光部21Bの出力に基づき、第1及び／又は第2受光光学系20A及び／又は20Bに対して、低次収差を補正するように構成することができる。

【0028】

制御部610は、演算部600からの制御信号に基づいて、第1光源部11の点灯、消灯を制御したり、第1の駆動部910～第4の駆動部913を制御するためのものである。制御部610は、例えば、演算部600での演算結果に応じた信号に基づいて、第1光源部11に対して信号①を出力し、第2調整光学部70に対して信号⑤を出力し、前眼部照明部30に対して信号⑥を出力し、第1調整光学部50に対して信号⑨を出力し、視標光学部90に対して信号（11）を出力し、さらに、第1駆動部910～第6駆動部915に対して信号を出力する。

【0029】

第1の駆動部910は、演算部600に入力された第1又は第2受光部21A

又は21Bからの信号④又は(14)に基づいて、信号②を出力して、第1照明光学系10の正負一組のシリンドーレンズ(いわゆるバリアブルクロスシリンドー)と、第1受光光学系20A(又は第2受光光学系20B)の正負一組のシリンドーレンズ(いわゆるバリアブルクロスシリンドー)とを、適宜のレンズ移動手段を駆動させて回動させて、被検眼の乱視成分を補正するためのものである。この補正は行わなくてもよい。

【0030】

第2駆動部911は、例えば、演算部600に入力された第1及び/又は第2受光部21A及び/又は21Bからの受光信号④に基づいて、第1照明光学系10及び第1並びに第2受光光学系20A並びに20Bを光軸方向に移動させるものであり、図示しない適宜のレンズ移動手段に対して信号③を出力すると共に、このレンズ移動手段を駆動する。

【0031】

第3駆動部912は、例えば、視標光学部90を移動させるものであり、図示しない適宜の移動手段に対して信号(12)を出力すると共に、この移動手段を駆動する。

第4駆動部913は、ロータリープリズム62を回動させるものであり、図示しない適宜のレンズ移動手段に対して信号(13)を出力すると共に、このレンズ移動手段を駆動する。

【0032】

3. 短焦点及び長焦点による測定

図4に、ハルトマン画像の図の一例を示す。図4Aは、第2測定部25Bを用いて短焦点又は低感度で測定した場合であり、ハルトマンの格子の範囲内に各スポットが存在する。一方、図4Bは、第1測定部25Aを用いて長焦点又は高感度で測定した場合であり、ハルトマンの格子の範囲外にもスポットが存在する場合がある。

【0033】

図5に、短焦点及び長焦点による測定についての説明図を示す。図5Aは、第2測定部25Bを用いて短焦点又は低感度で測定したため、スポット位置のずれ

が小さくハルトマンの格子の範囲内にある。したがって、各スポットと格子点との対応付けがしやすい。また、スポット像の欠損位置を容易に検出でき、又は各スポット像の検出範囲が重複することなく画一的に検出できる。一方、図5Bでは、第1測定部25Aを用いて長焦点又は高感度で測定したため、スポット位置のずれが大きくハルトマンの格子の範囲外にもスポットが存在することもある。したがって、あまりにスポット位置がずれてしまうと、各スポットと格子点との対応付けが難しい場合がある。また、スポット像の欠損位置を認識することは極めて難しい。そこで、本実施の形態では、図5Cのように、長焦点又は高感度で測定した場合に、短焦点又は低感度で測定した結果、移動方向及び移動量がある程度既知であるため、その結果を用いることで各スポットと格子点との対応付けをしやすくする。

【0034】

4. 眼特性測定

図6に、眼特性測定のフローチャートを示す。

まず、眼特性測定装置は、被検眼の瞳位置のX、Y、Z軸をアライメントする(S101)。次に、測定装置の移動部の原点移動を行う(S102)。例えば、ハルトマン板やプラチドリング等をゼロディオプターに合わせる。演算部600は、測定された受光信号④、(14)、⑦及び／又は(10)に基づき、全波面収差、ゼルニケ係数等の眼球光学系の眼特性データを測定する(S103)。演算部600は、後述するように、粗測定及び／又は精密測定により眼特性を測定する。演算部600は、求められた眼特性データを表示部700及びメモリ240に出力する(S104)。

【0035】

図7に、上記ステップS103の眼特性測定のフローチャートを示す。

演算部600は、第2測定部25Bで短焦点又は低感度のハルトマン画像を取得する(S201)。つぎに、演算部600は、取得した画像に基づき、第2処理部で高速に眼特性を計算処理する(S203)。すなわち、演算部600は、スポット像の重心点を検出し、無収差での重心点を中心とする矩形エリア内でそのスポットと対応する重心位置を探すことによって高速可能となるように対応付けする

【0036】

ここで、第2測定部25Bを用いて短焦点又は低感度で測定した場合（粗測定）について説明する。

演算部600は、第2測定部25Bの画像から点像の移動量を求め、 i 番目の点像の移動量を Δx_i 、 Δy_i とする。これは、図4又は図5に説明するように、決められたセルを越えないとする。これは第2変換部材（ハルトマンプレート）22Bと第2受光部（CCD）21Bの距離が近いため、通常は満足できる。逆にこれを超えるような収差は本装置の測定対象外となる。この移動量と波面収差Wは、以下の偏微分方程式によって関係付けられる。

【0037】

【数1】

$$\frac{\partial W(X, Y)}{\partial X} = \frac{\Delta x}{f},$$

$$\frac{\partial W(X, Y)}{\partial Y} = \frac{\Delta y}{f}$$

【0038】

（ f ：第2測定部25Bのハルトマン板とCCDとの距離）

ここで、波面Wをゼルニケ多項式 Z_i^{2j-1} を使った展開であらわすと、

【0039】

【数2】

$$W(X, Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i c_i^{2j-i} Z_i^{2j-i}(X, Y)$$

【0040】

上の2つの式と、測定で求められた Δx 、 Δy 、（よって、X、Yも含む）に関する測定値を使って、ゼルニケ係数 c_n^m の各値を求めることができる。この方法では、点像が、ある決められた範囲内に存在するようになっているので、非常に高速な処理が可能である。

【0041】

なお、図9、図10に、ゼルニケ多項式についての説明図（1）（2）を示す。

ここで、演算部600は、測定処理が可能か判断する（S205）。演算部600は、例えば、重心位置が所定の数以上（例えば3分の1）取れない、もしくは各点像のぼけが大きい（例えば、無収差時の20倍以上など）、もしくは、隣接するスポット像と分離できずに検出できない点が所定の数以上あるなど、予め定められたひとつ又は複数の適宜の条件に従い判断する。

【0042】

ここで、処理不可能な場合、演算部600は、解析不可能通知、さらに必要であれば第2受光部からの第2ハルトマン像を表示し（S207）、一方、処理可能な場合、演算部600は、上述のように、粗い球面度数S、乱視度数C、乱視軸A、高次収差を得る（S209）。すなわち、演算部600は、求められたゼルニケ係数 c_n^m と光学系の配置（例、移動位置が初期条件でどこに来ているかなどの情報）により、既知の方法をつかって、球面度数S、乱視度数C、乱視軸A、高次球面収差を得ることができる。演算部600は、次式のようにゼルニケ係数の2次項から球面度数S、乱視度数C、乱視軸Aを求めることができる。演算部600は、粗測定により得られた各値を適宜メモリに記憶する。

【0043】

【数3】

$$\begin{aligned} SE &= S_{move} - 4 \cdot \frac{c_2^0}{r^2} \\ S &= SE - \frac{1}{2} \cdot C \\ C &= -4 \cdot \frac{\sqrt{(c_2^{-2})^2 + (c_2^2)^2}}{r^2} \\ A &= \tan^{-1} \left(\frac{c_2^{-2}}{c_2^2} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{180}{\pi} + 90 \end{aligned}$$

【0044】

（ここに、SE：等価球面度数、 S_{move} ：固視移動分の球面度数、r：瞳半径mm）

つぎに、演算部600は、高次収差が許容範囲か判断する（S211）。例えば、所定の収差量以上で高感度測定を行ったときに点像の分岐が困難と思われるとき、許容範囲からはずれることとなる。そこで、演算部600は、例えば、この低感度で解析された波面収差から高感度で測定したときの予想されるハルトマン像の各重心位置を算出し、隣接する点との距離が所定範囲（例えば、5ピクセル以下）になったものがあったとき許容範囲から外れているとすることができる。なお、重心位置は、波面W（X, Y）の（X, Y）での傾きを算出し（数1、2参照）、第1受光部21AのCCD上での位置を求ることにより得られる。また、低感度のときに瞳径が所定の大きさより小さいとき（例えば、明所時Φ4mm未満であるとき）や、収差解析する次数に対し高感度のときに変換したときの重心点数が少ないとき等もこれにあたるとすることができる。ステップS211で許容範囲でない場合、演算部600は、第2処理部の粗測定による結果をメモリから読み出して、その結果を、さらに必要であれば第2受光部からの第2ハルトマン像を表示する（S213）。

【0045】

一方、ステップS211で許容範囲とき、演算部600は、球面度数S等の低次収差が許容範囲から外れているか判断する（S215）。例えば、演算部600は、可動部移動量が許容範囲内であるとき（例えば、球面度数Sが0.01D以下であるとき）、許容範囲からはずれていないとすることができる。球面度数S等の低次収差が許容範囲外のとき、演算部600の測定条件設定部601は、第2測定部25Bにより得られた球面度数S等の低次収差から制御部610により信号③を出力し移動部15を移動することで低次収差を補正する（S217）。ここで、演算部600は、例えば、被検眼の球面度数S等の低次収差から決定される移動部15の移動量の相当分移動することができる。特に、第2変換部材で得られたスポットを用いて低次収差を補正していることから、移動後の測定において測定により相応しい条件となる。

【0046】

ステップS215又はS217の後、演算部600は、第1測定部25Aで長焦点又は高感度のハルトマン画像を取得する（S218）。演算部600は、ス

ステップS205と同様に処理可能か判断する(S219)。ステップS219で、処理可能な場合、演算部600は、第2処理部で得られた球面度数S、乱視度数C、乱視軸A、高次収差、移動部移動量の情報を利用しながら、即ち、移動部の移動量に相当する球面成分を考慮して画像を処理し精密測定を行う(S221)。

【0047】

ここで、第1測定部25Aを用いて長焦点又は高感度で測定した場合(精密測定)について説明する。演算部600は、第1測定部25Aから得られる点像は、先の第2測定部25Bで得られた粗測定の結果から予測することができる。つまり、先の式は、第1及び第2測定部25A及び25Bの焦点又は感度によって、ハルトマンプレートからCCDまでの距離や、点像のズレが異なってくることは別にして、次式のように同様な関係が成り立つ。

【0048】

【数4】

$$\frac{\partial W(X, Y)}{\partial X} = \frac{\Delta \hat{x}}{F},$$

$$\frac{\partial W(X, Y)}{\partial Y} = \frac{\Delta \hat{y}}{F}$$

$$W(X, Y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^i c_i^{2j-i} Z_i^{2j-i}(X, Y)$$

【0049】

(F: 第1測定部25Aのハルトマン板とCCDの距離)

特に、波面収差Wやゼルニケ係数 c_i^{2j-1} は測定精度により違いこそあれ、本質的には同じもののはずである。(しかし、この精密測定の点像移動量を粗測定から計算するとき、移動部の移動量に相当する球面成分と、もし乱視成分の補正を行っているならば、正負一組のシリンダーレンズ(いわゆるバリアブルクロスシリンダー)による補正量に相当する乱視成分は第1測定部で像を取得したときには補正されているため、その補正分が除去された波面が観測されるはずである。そのため、球面成分のみの補正であれば、 $i \neq 2$ かつ $j \neq 0$ 、乱視成分の補

正も行っているのであれば $i \neq 2$ とする。) そこで、この式を逆に使うことにより、 k 番目のスポット像に対し、精密測定の点像移動量 Δx^k 、 Δy^k を粗測定から計算することができる。実際には、次式により測定することができる。

【0050】

【数5】

$$\Delta \hat{x}_k = \frac{\partial}{\partial X} \sum c_n^m Z_n^m(X_k, Y_k) \cdot F = \sum c_n^m \frac{\partial}{\partial X} Z_n^m(X_k, Y_k) \cdot F$$

$$\Delta \hat{y}_k = \frac{\partial}{\partial Y} \sum c_n^m Z_n^m(X_k, Y_k) \cdot F = \sum c_n^m \frac{\partial}{\partial Y} Z_n^m(X_k, Y_k) \cdot F$$

【0051】

これにより、まず、そもそも、第1処理が可能かどうかの判断も可能である。

こうして、演算部600は、第1処理部で精密な球面度数S、乱視度数C、乱視軸A、高次収差を得る(S223)。さらに、演算部600は、第1処理部の結果と、さらに必要であれば第1又は/及び第2受光部からの第2ハルトマン像を表示部700に表示し、メモリに記憶する(S225)。演算部600は、終了か判断し(S227)、必要に応じ、ステップS201に戻り処理を繰返して、終了する。

【0052】

図8に、第1測定部25Aで取得した画像が処理不可能な場合のサブルーチンのフローチャートを示す。

ステップS219で処理不可能と判断された場合、演算部600は、第1処理部と第2処理部の複合解析をするかを判断する(S301)。この際、メモリにデフォルト値を予め定めておくか、入力部650により入力することで、演算部600は処理を選択することができる。

【0053】

複合解析しない場合、演算部600は、第2処理部の結果をメモリから読み出してその結果を、さらに必要であれば第2受光部からの第2ハルトマン像を表示し(S303)、一方、複合解析を行う場合、演算部600は、第1測定部25Aで検出できた重心が所定数あるか判断する(S305)。ここで、所定数の重

心が検出できなかった場合、演算部600は、第2処理部の結果をメモリから読み出してその結果を、さらに必要であれば第2受光部からの第2ハルトマン像を表示し（S307）、一方、所定数の重心が検出できた場合、演算部600は、第1測定部25Aで検出できなかった重心位置に対応する第2測定部25Bでの重心位置を検出する（S309）。つぎに、演算部600は、第2測定部25Bで検出できた重心位置を第1測定部25Aでの感度での重心位置に変換する（S311）。すなわち、1つの測定結果で領域により収差の変化が大きく、高感度で測定できるところとできないところが混在する場合、短焦点と高感度の結果を合成する。このステップでは、演算部600は、高感度で測定不可能であった重心点を短焦点の結果から再現し、高感度の解析時にその点も含めてゼルニケ解析を行う（なお、変換方法は、数5等を参照）。演算部600は、変換した重心位置から球面度数S、乱視度数C、乱視軸A、高次収差を得る（S313）。演算部600は、複合解析の結果と、さらに必要であれば第1又は／及び第2受光部からの第2ハルトマン像を表示部700に表示し、メモリに記憶し（S315）、図7のステップS227に戻る。

S311において、第1測定部25Aで検出できた重心位置を第2測定部25Bでの感度での重心位置に変換するように構成することもできる。

【0054】

【発明の効果】

本発明によると、以上のように、被検眼の光学特性を精密に測定する場合に、短焦点又は低感度（低倍率）の受光光学系により測定した光学特性に基づき、長焦点又は高感度（高倍率）の受光光学系の測定条件（球面度などの低次収差、高次収差）を設定し、より正確、高速に眼特性の測定を行うことができる。また、本発明によると、特に、ラフ測定にハルトマンシャックの短焦点バージョンの測定を利用することができる眼特性測定装置を提供することができる。

【0055】

また、本発明は、次に例示するような効果を奏する。

1. 短焦点のハルトマン像を用いるので、測定感度が低く、球面度数に対し、広い測定範囲を持つ。現行のラフ測定も、広い球面度数の測定をして、レンズを移

動して精密測定に備えるのが目的のひとつなので、短焦点の測定もこれをまず満たしている。

2. 今までのラフ測定と違い、収差測定も可能である。
3. この短焦点による収差測定で、次のことが可能になる。

(ア) ほぼリアルタイムでの出力が可能であり、調節などによる目の屈折状態の動的な変化が、リアルタイム測定できる。

(イ) 精度はある程度犠牲になるのかも知れないが、大きな収差変化も測定できる。

(ウ) 高精度測定の処理で、ラフ測定で得られた情報が利用できる。たとえば、点像の認識は、焦点距離の長い高精度測定では高度の画像処理技術を要求するか、不可能な場合があるが、ラフ測定により、だいたいの像のゆがみが予測できるので、まちがいなく、高精度測定時の画像処理、画像認識ができ、これら処理の全自動化にも寄与する。また、誤作動もなくなる。測度点が抜けているところも予測できる。

(エ) 短焦点化することで高密度化でき、次のことが可能となる。

①瞳径が小さくても点数を多く測定できるため高次収差まで解析可能（許容範囲判断のところで瞳径による解析の可不可も判断）

②点数が多いためさらに高次の解析が可能となる。

③高密度であるため不連続な波面に対してフィッティング精度がよくなり、より高次の解析が可能

(オ) 感度の低い短焦点での測定も行っていることから、高感度のほうでは測定できない大きな収差の眼も測定でき、測定レンジを広げられる。

(カ) 1つの測定結果で領域により収差の変化が大きく、高感度で測定できるところとできないところが混在する場合、短焦点と高感度の結果を合成することもできる。（高感度で測定不可能であった重心点を短焦点の結果から再現し、高感度の解析時にその点も含めてゼルニケ解析を行う）

【図面の簡単な説明】

【図1】

眼特性測定装置の光学系の構成図。

【図2】

眼特性測定装置の光学系の変形例の構成図。

【図3】

眼特性測定装置の電気系の構成図。

【図4】

ハルトマン画像の図の一例。

【図5】

短焦点及び長焦点による測定についての説明図。

【図6】

眼特性測定のフローチャート。

【図7】

S103の眼特性測定のフローチャート。

【図8】

第1測定部25Aで取得した画像が処理不可能な場合のサブルーチンのフローチャート。

【図9】

ゼルニケ多項式についての説明図(1)。

【図10】

ゼルニケ多項式についての説明図(2)。

【符号の説明】

10 第1照明光学系

11 第1の光源部

20A 第1受光光学系

21A 第1受光部

20B 第2受光光学系

21B 第2受光部

30 前眼部観察部

40 前眼部照明部

50 第1調整光学部

70 第2調整光学部

90 視標光学部

600 演算部

610 制御部

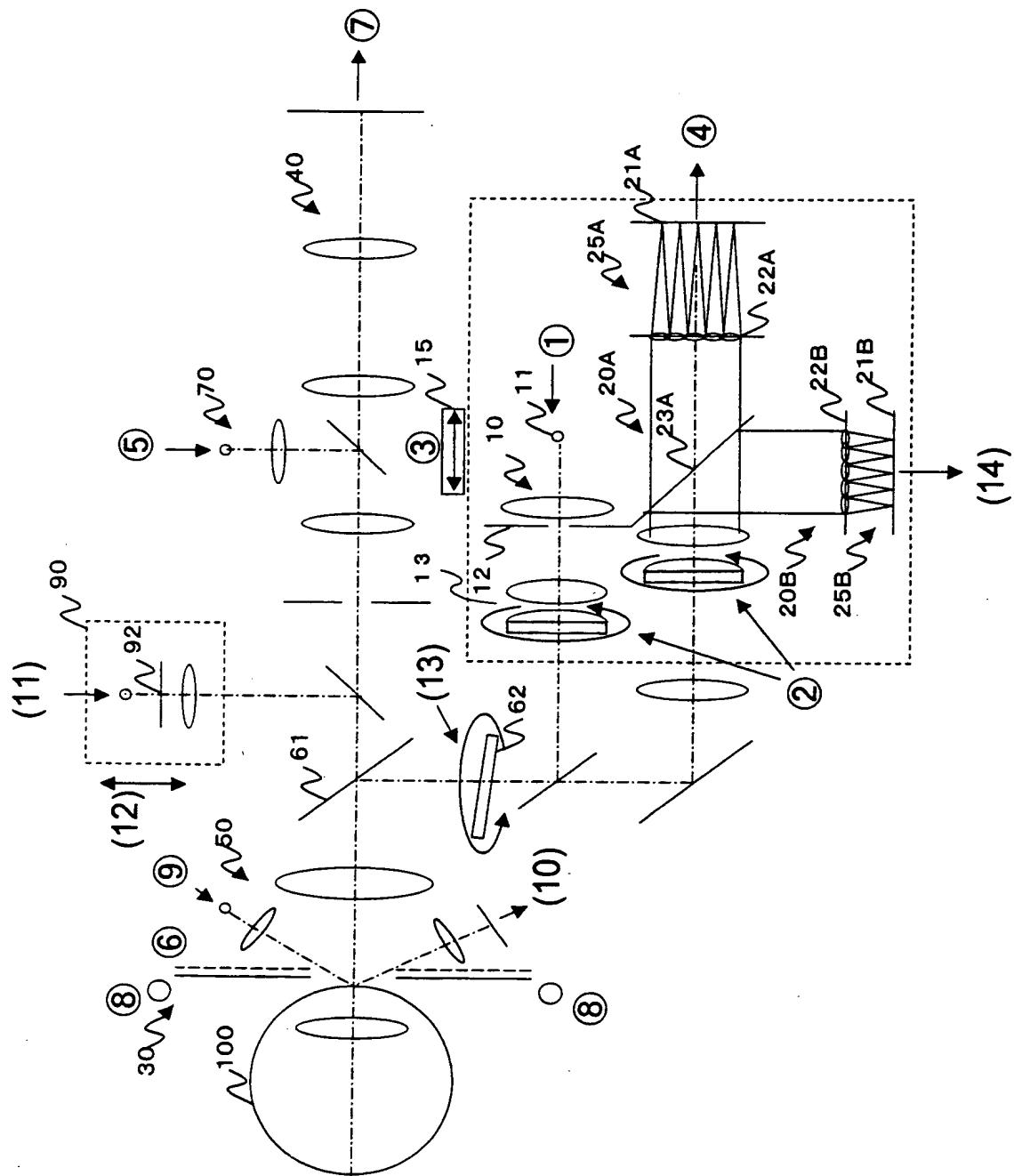
650 入力部

700 表示部

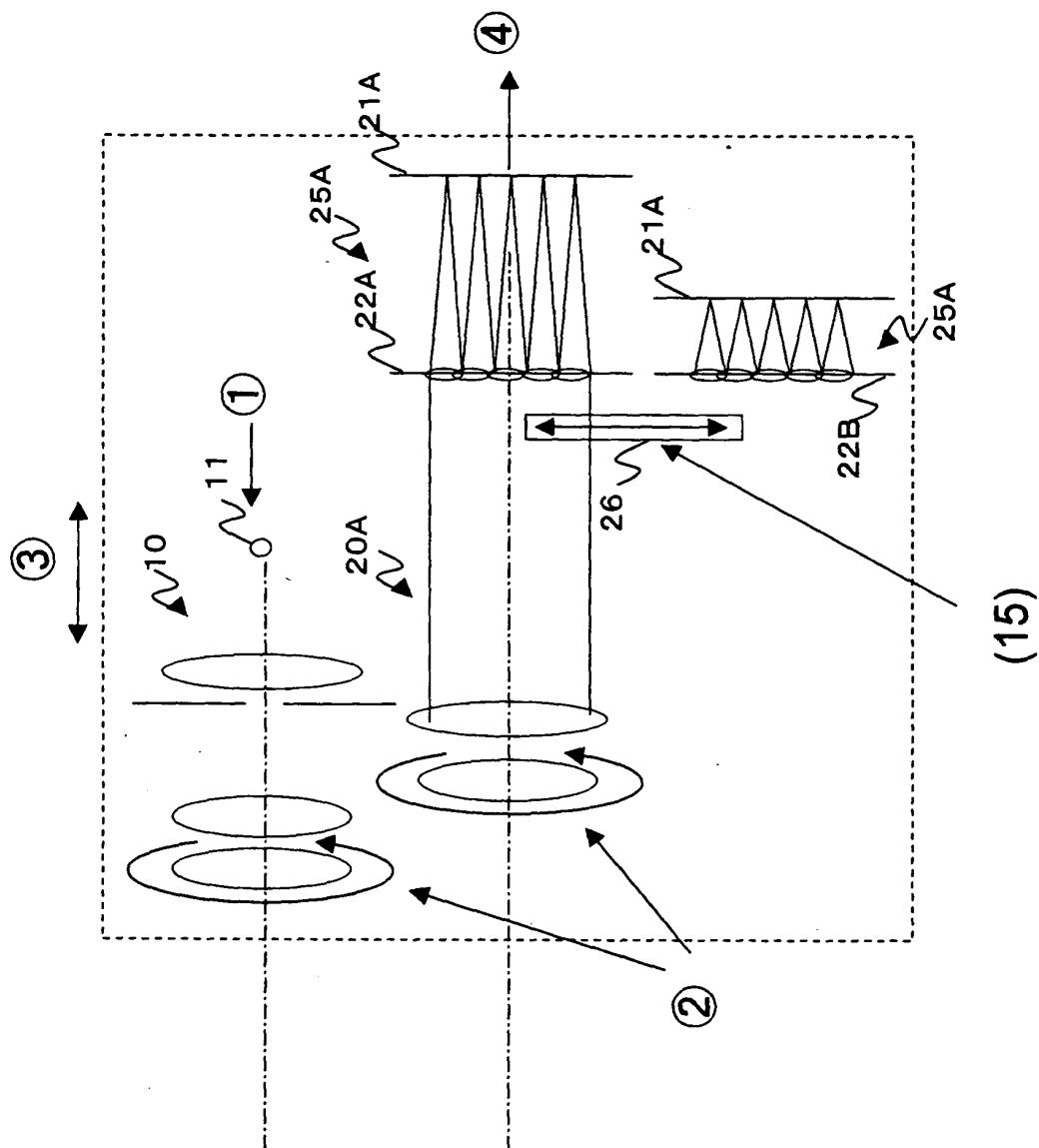
800 メモリ

【書類名】 図面

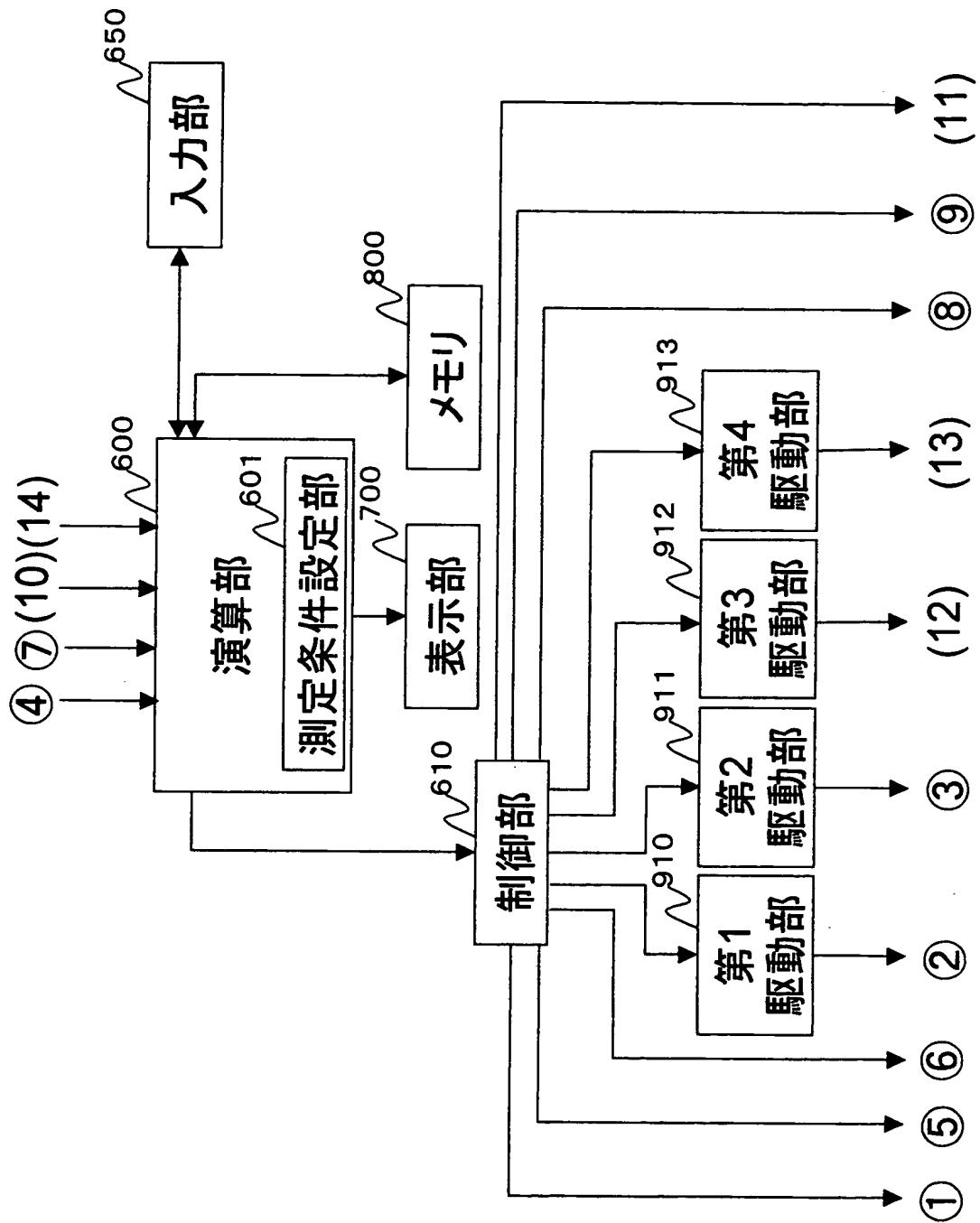
【図 1】



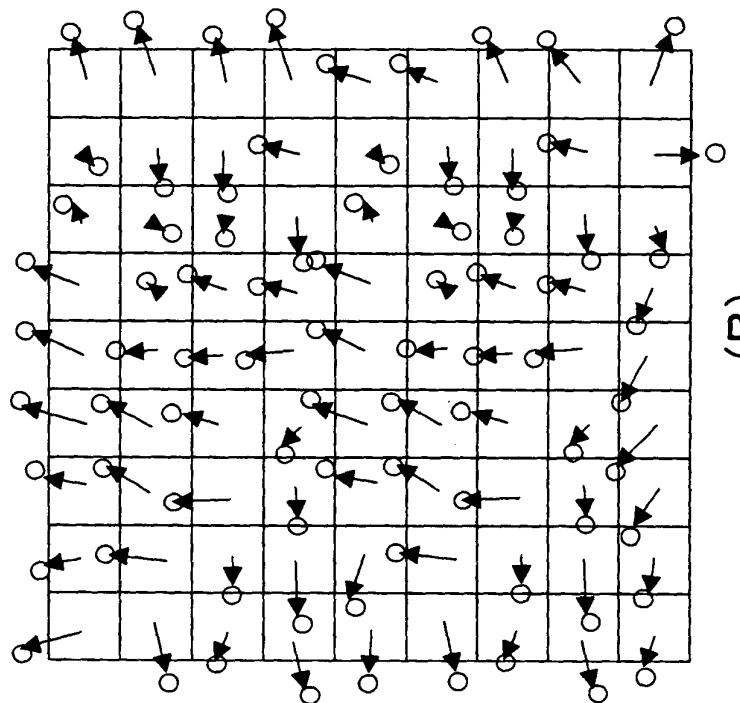
【図2】



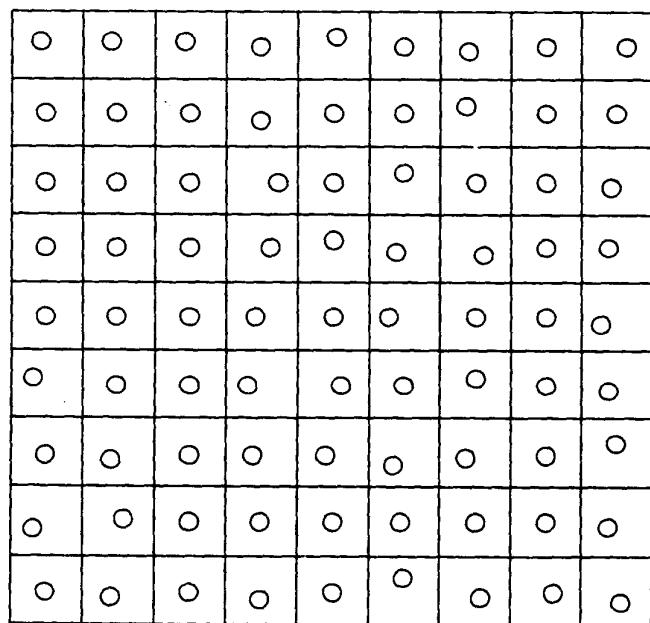
【図3】



【図4】

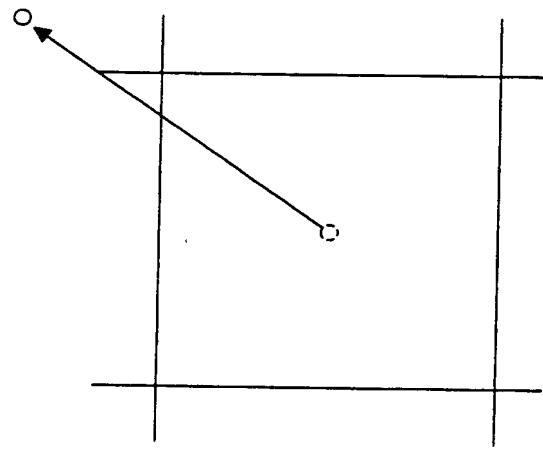


(B)

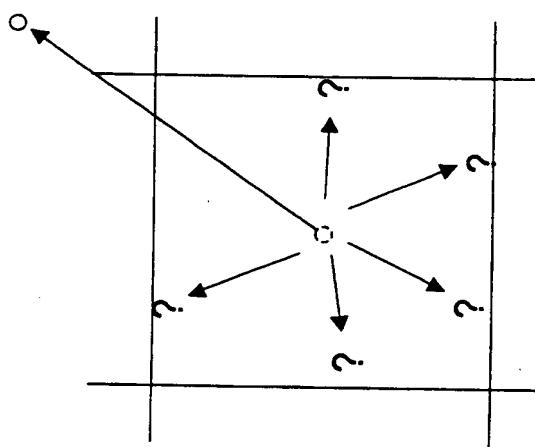


(A)

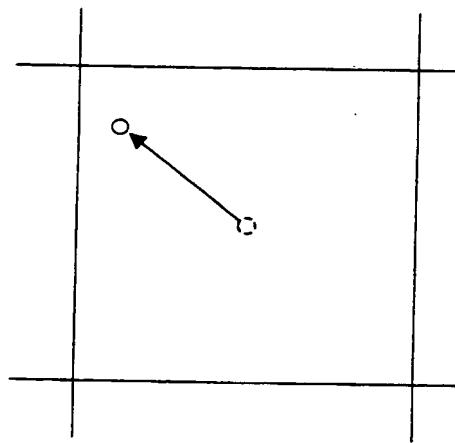
【図5】



(C)

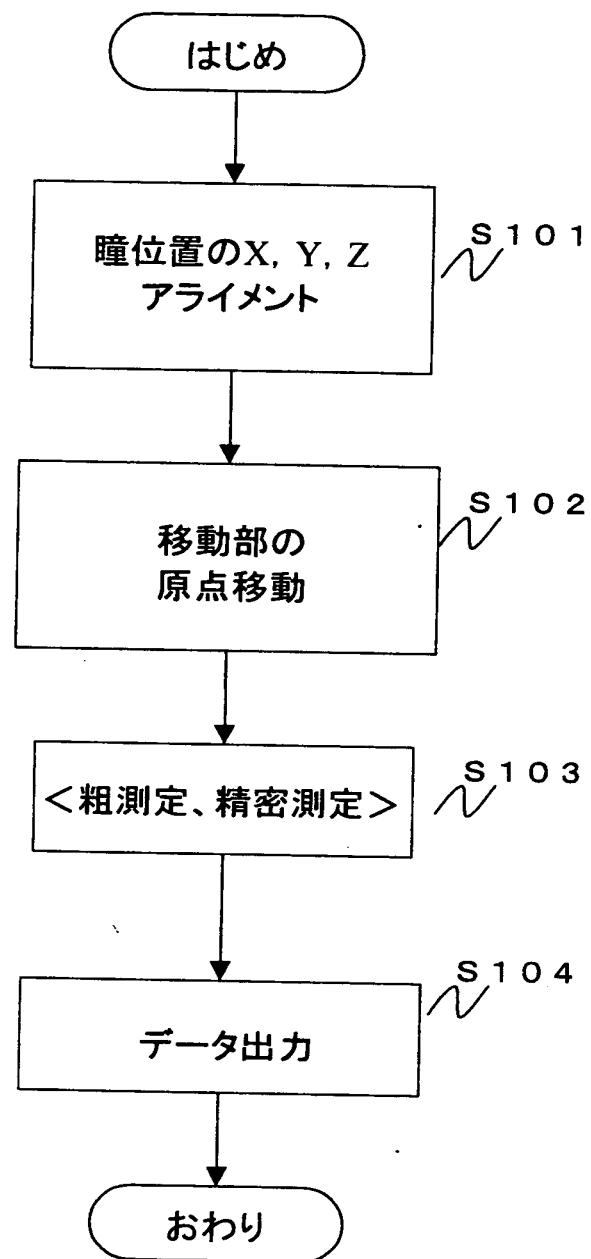


(B)

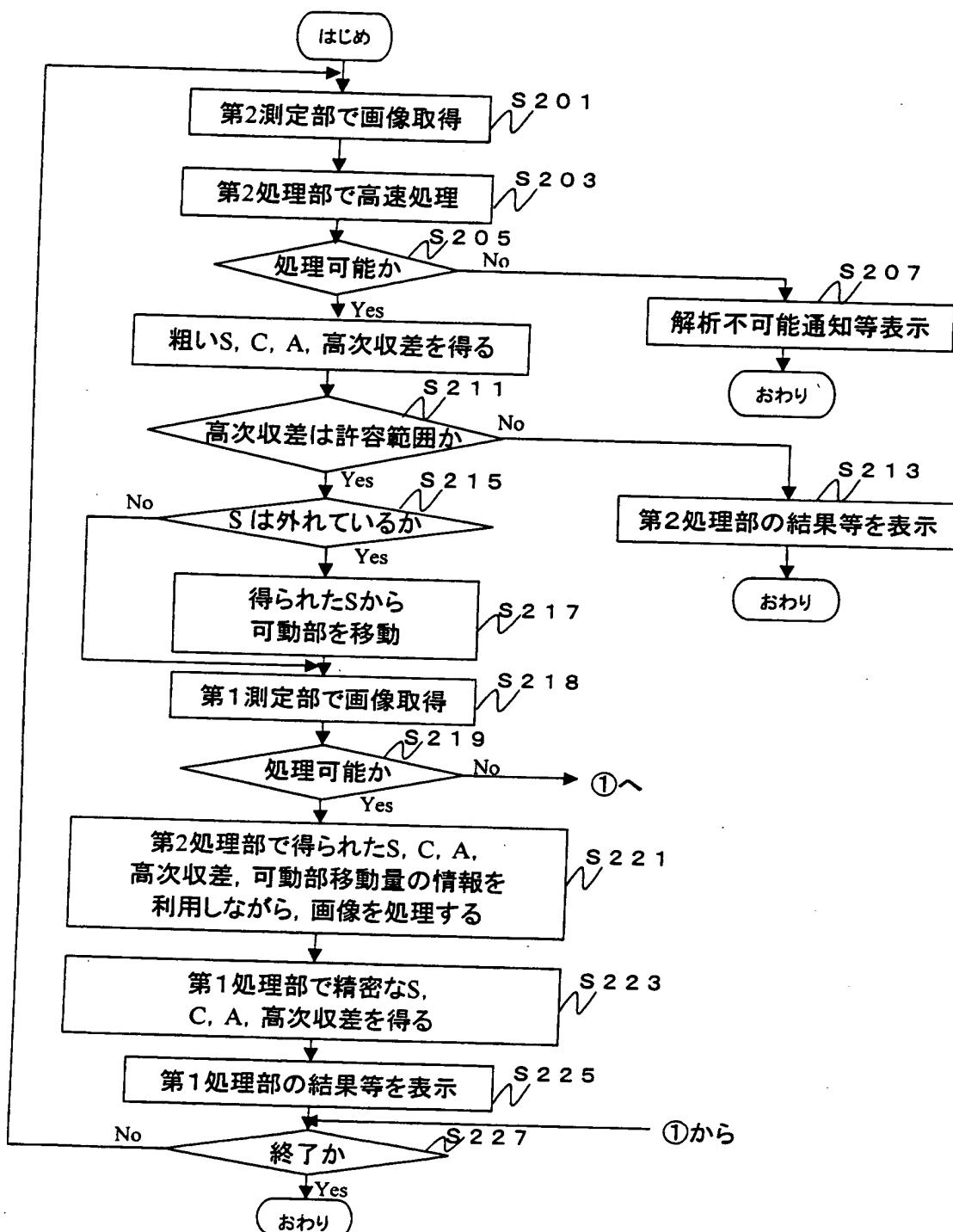


(A)

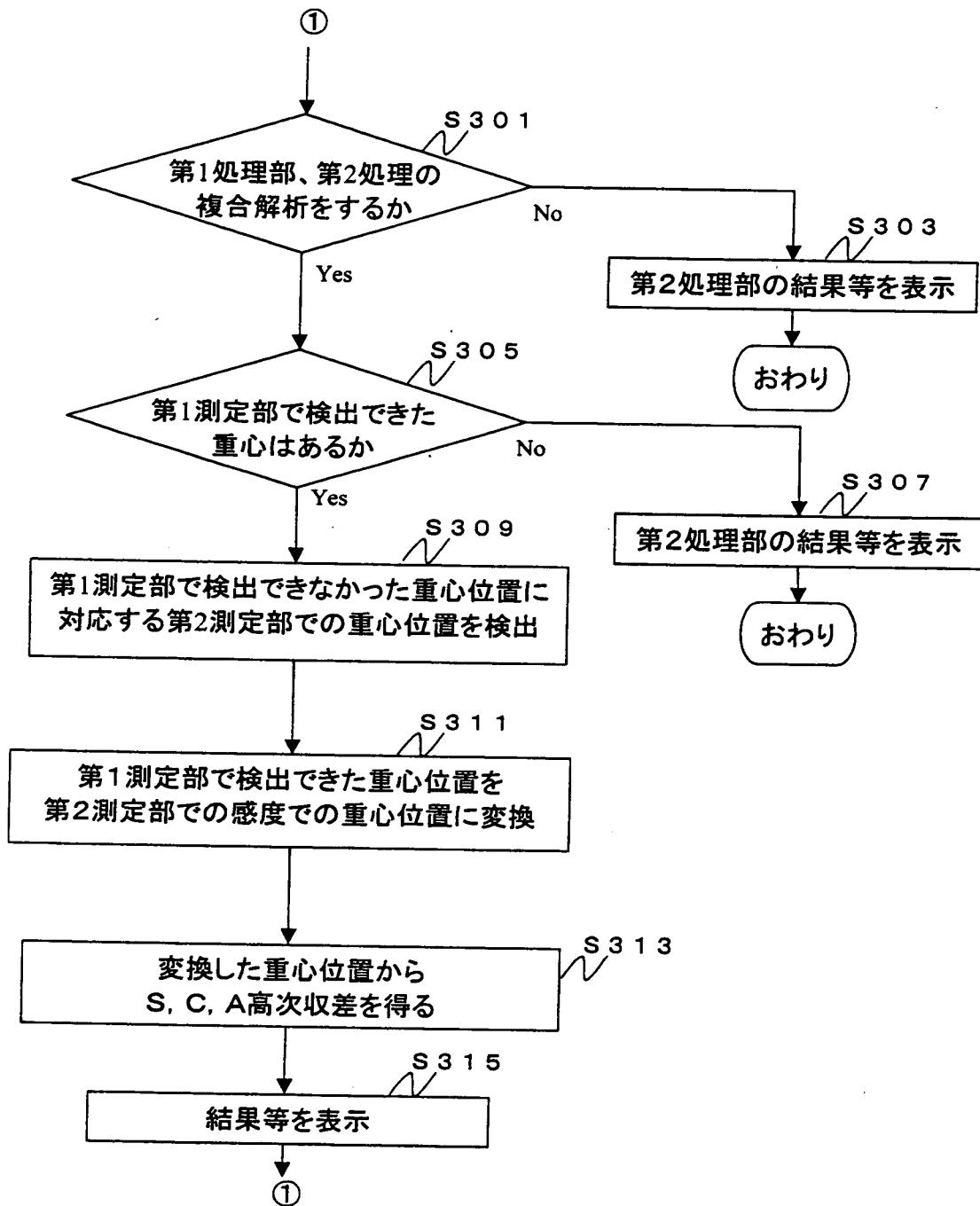
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

i	$2j-i$	
0	0	1
1	-1	$r \sin(t)$
1	1	$\cos(t) r$
2	-2	$r^2 \sin(2t)$
2	0	$2r^2 - 1$
2	2	$r^2 \cos(2t)$
3	-3	$r^3 \sin(3t)$
3	-1	$(3r^3 - 2r) \sin(t)$
3	1	$(3r^3 - 2r) \cos(t)$
3	3	$r^3 \cos(3t)$
4	-4	$r^4 \sin(4t)$
4	-2	$(4r^4 - 3r^2) \sin(2t)$
4	0	$6r^4 - 6r^2 + 1$
4	2	$(4r^4 - 3r^2) \cos(2t)$
4	4	$r^4 \cos(4t)$
5	-5	$r^5 \sin(5t)$
5	-3	$(5r^5 - 4r^3) \sin(3t)$
5	-1	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \sin(t)$
5	1	$(10r^5 - 12r^3 + 3r) \cos(t)$
5	3	$(5r^5 - 4r^3) \cos(3t)$
5	5	$r^5 \cos(5t)$
6	-6	$r^6 \sin(6t)$
6	-4	$(6r^6 - 5r^4) \sin(4t)$
6	-2	$(15r^6 - 20r^4 + 6r^2) \sin(2t)$
6	0	$20r^6 - 30r^4 + 12r^2 - 1$
6	2	$(15r^6 - 20r^4 + 6r^2) \cos(2t)$
6	4	$(6r^6 - 5r^4) \cos(4t)$
6	6	$r^6 \cos(6t)$

【図10】

i	2j-i	
0	0	1
1	-1	y
1	1	x
2	-2	$2yx$
2	0	$2x^2 + 2y^2 - 1$
2	2	$x^2 - y^2$
3	-3	$3yx^2 - y^3$
3	-1	$3yx^2 + 3y^3 - 2y$
3	1	$3x^3 + 3xy^2 - 2x$
3	3	$x^3 - 3xy^2$
4	-4	$4yx^3 - 4y^3x$
4	-2	$8yx^3 + 8y^3x - 6yx$
4	0	$6x^4 + 12x^2y^2 + 6y^4 - 6x^2 - 6y^2 + 1$
4	2	$4x^4 - 4y^4 - 3x^2 + 3y^2$
4	4	$x^4 - 6x^2y^2 + y^4$
5	-5	$5yx^4 - 10y^3x^2 + y^5$
5	-3	$15yx^4 + 10y^3x^2 - 5y^5 - 12yx^2 + 4y^3$
5	-1	$10yx^4 + 20y^3x^2 + 10y^5 - 12yx^2 - 12y^3 + 3y$
5	1	$10x^5 + 20x^3y^2 + 10xy^4 - 12x^3 - 12xy^2 + 3x$
5	3	$5x^5 - 10x^3y^2 - 15xy^4 - 4x^3 + 12xy^2$
5	5	$x^5 - 10x^3y^2 + 5xy^4$
6	-6	$6yx^5 - 20y^3x^3 + 6y^5x$
6	-4	$24yx^5 - 24y^5x - 20yx^3 + 20y^3x$
6	-2	$30yx^5 + 60y^3x^3 + 30y^5x - 40yx^3 - 40y^3x + 12yx$
6	0	$20x^6 + 60x^4y^2 + 60x^2y^4 + 20y^6 - 30x^4 - 60x^2y^2 - 30y^4 + 12x^2 + 12y^2 - 1$
6	2	$15x^6 + 15x^4y^2 - 15x^2y^4 - 15y^6 - 20x^4 + 20y^4 + 6x^2 - 6y^2$
6	4	$6x^6 - 30x^4y^2 - 30x^2y^4 + 6y^6 - 5x^4 + 30x^2y^2 - 5y^4$
6	6	$x^6 - 15x^4y^2 + 15x^2y^4 - y^6$

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 短焦点又は低感度の受光光学系により測定した光学特性に基づき、長焦点又は高感度の受光光学系の測定条件を設定し、より正確に、高速に眼特性の測定を行う。

【解決手段】 光源部11からの光束で被検眼100網膜を照明するための第1照明光学系10と、被検眼100からの反射光束を複数本のビームに変換する長焦点又は高感度の第1変換部材22Aを介して受光するための第1受光光学系20Aと、被検眼網膜からの反射光束を複数本のビームに変換する短焦点又は低感度の第2変換部材22Bを介して受光するための第2受光光学系20Bと、第1受光光学系20Aの受光光束を受光する第1受光部21Aと、第2受光光学系20Bの受光光束を受光する第2受光部21Bとを備える。第1受光部21A及び／又は第2受光部21Bの出力に基づき、被検眼の光学特性を求め、第2受光部21Bからの出力信号に基づきビームの変化方向を推定する。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000220343]

1. 変更年月日 1990年 8月 8日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都板橋区蓮沼町75番1号

氏 名 株式会社トプコン